

---

## DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DEL HUMEDAL JUAN AMARILLO ENTRE 1950 - 2005

### Dynamics Space Temporary Juan Amarillo Wetland Between 1950-2005

PATRICIA ANDREA BEJARANO MORA<sup>1</sup>, Maestría en Ciencias -  
Biología, línea Ecología; MARÍA ARGENIS BONILLA<sup>1</sup>, Ph. D.

<sup>1</sup>Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad  
Nacional de Colombia. Bogotá - Colombia.

Correspondencia: Patricia Andrea Bejarano Mora. Carrera 13 No. 71-41.  
Tel: 315 8765303. pabejaranom@unal.edu.co - patribej@hotmail.com

Presentado 25 de octubre de 2008, aceptado 31 de mayo de 2008, correcciones 29 de octubre de 2008.

#### RESUMEN

Se analizó la dinámica del Humedal Juan Amarillo durante el periodo comprendido entre los años 1950-2005. Los resultados muestran que la configuración paisajística del ecosistema ha cambiado notoriamente con una tendencia al incremento en el número, tamaño y tipo de parches. Igualmente se presentan diferencias estructurales importantes entre los diversos periodos de tiempo analizados, ocasionados principalmente por la disminución y desaparición de espejos de agua y el aumento de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). En cuanto al arreglo espacial de los elementos paisajísticos, no sucedieron cambios importantes en los patrones de distribución espacial de los elementos paisajísticos del humedal. De acuerdo con la dimensión fractal, los elementos del paisaje presentan dos tendencias en cuanto a su complejidad: los elementos introducidos poseen las formas más complejas y los elementos propios del ecosistema tienen formas más regulares. Finalmente, la dinámica del humedal fue modelada con el fin de interpretar cómo las múltiples interacciones entre los elementos paisajísticos han influido en la configuración del humedal a lo largo del tiempo.

**Palabras clave:** Humedal Juan Amarillo, estructura, composición, dimensión fractal.

#### ABSTRACT

The dynamics of Juan Amarillos' wetland were analyzed during 55 year between 1950 and 2005. The results showed that the landscape configuration of the ecosystems has dramatically changed within a trend to increase in number, size, and patch type. Likewise, important structural differences came up between the various periods in question; such differences appear to be related to the reduction and disappearance of the pond and the significant increase of the non native kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum*). Regarding the spatial arrangement of the landscape elements, there

were no significant changes in spatial distribution patterns. According to the fractal dimension and complexity, the landscape elements showed two trends: non native and man-made elements are more complex in shape, whereas native elements showed more regular shapes. Finally, the wetland dynamics were modelled with the aim of construing how the multiple interactions of the landscape elements have influenced the wetland configuration over time.

**Key words:** Juan Amarillo Wetland, structure, composition, fractal dimension.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos veinte años, los estudios de paisaje han ido tomando forma para dar respuesta a problemas relacionados con la conservación y protección de áreas naturales, con la planificación de usos del territorio y con la restauración de zonas alteradas (Ministerio de medio ambiente, 2000). En Colombia, los estudios de paisaje se han realizado principalmente en áreas de Parques Nacionales Naturales y son escasos en las áreas protegidas inmersas o cercanas a matrices urbanas, como es el caso de los humedales de la ciudad de Bogotá.

Bogotá cuenta con 13 humedales reconocidos como Parques Ecológicos Distritales de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT, reglamentado mediante los Decretos No. 619 de 2000 y 469 de 2003). Estos ecosistemas son fundamentales para la ciudad debido a los múltiples servicios ambientales que prestan tales como la regulación de crecientes, mejoramiento del régimen de vientos locales, depuración de aguas, conservación de especies endémicas y amenazadas, recepción de especies de aves migratorias y escenarios para la educación ambiental (Márquez, 2003).

El Juan Amarillo, es en la actualidad el ecosistema de humedal más grande de Bogotá que durante los últimos 50 años ha presentado grandes variaciones en cuanto a su configuración paisajística, resultado de los cambios ocurridos a escalas ecológicas más pequeñas (comunidades y poblaciones). Estas variaciones son en gran parte resultado de los impactos generados por las obras de infraestructura, el incremento poblacional en el área de influencia, la contaminación de los afluentes del ecosistema y la pérdida de su configuración geométrica por procesos de sedimentación y escombros arrojados al cuerpo de agua (Bejarano, 2005).

Aunque se conocen las tendencias que se han presentado en el Juan Amarillo como consecuencia del cambio en el uso del suelo en su área de influencia (antes de usos rurales y actualmente ocupado por infraestructura urbana), tales como la pérdida de espejo de agua, el aumento de flora invasora y la disminución de coberturas vegetales propias del ecosistema, entre otras (Bejarano, 2005), aún no se ha establecido claramente cómo ha cambiado el ecosistema la configuración de sus elementos ecológicos paisajísticos, en cuanto a estructura, composición, y relaciones topológicas. Estos aspectos son fundamentales para interpretar la dinámica de un sistema a nivel de paisaje y facilitan la comprensión de algunos aspectos funcionales de los humedales que no han sido lo suficientemente estudiados cuando éstos se encuentran geográficamente localizados en zonas urbanas, densamente ocupadas por población humana.

El presente estudio analiza la dinámica espacio-temporal de la estructura, composición y comportamiento entre los elementos paisajísticos del humedal Juan Amarillo desde la perspectiva de la ecología del paisaje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

El humedal Juan Amarillo es un plano anegable del río del mismo nombre, que se ubica al noroccidente de Bogotá, Colombia, entre la transversal 91 por el oriente y la carrera 140 aproximadamente, por el occidente. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 1°013.500 y 1°016.300 Norte y 995.000 y 998.500 Este (Daphnia, 1995; Fig. 1).



Figura 1. Localización geográfica del Humedal Juan Amarillo Fuente: Conservación Internacional- Acueducto de Bogotá, 2006.

El ancho del humedal varía entre 400 y 700 m, tiene una extensión aproximada de 220 ha., que lo convierten en el humedal más grande de la ciudad. Su cota de fondo mínima se encuentra entre 2.569,5 y 2.576 de altitud, según los registros altimétricos del Conservación Internacional- Acueducto de Bogotá, 2000.

### DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARGUE DE DATOS A UNA BASE DE DATOS PERSONAL

Teniendo en cuenta que la dinámica del humedal se interpretó a través del modelamiento del paisaje, en el que se necesitaba contar con datos estandarizados, se generó una plataforma para el procesamiento de la información espacio temporal disponible, a partir de la construcción de una base de datos personal (Personal Geodatabase) en ArcGis 9, siguiendo la metodología propuesta por MacDonald, 2001.

Se seleccionaron las fotografías aéreas disponibles de los vuelos realizados por el IGAC entre los años 1949-2006, los cuales corresponden a ocho épocas (1949, 1952, 1955, 1977, 1989, 2998, 2004; Tabla 1). Teniendo en cuenta que la mayoría de la información disponible corresponde a la época seca, se seleccionaron únicamente los vuelos realizados entre los meses de noviembre a marzo para el análisis de resultados.

Sobre	Vuelo	Fecha de toma			Escala aproximada
		Día	Mes	Año	
2281	C-525	2	12	49	1:20.000
2282	C-525	2	12	49	1:20.000
20017	C-619	21	3	52	1:18.000
20018	C-619	21	3	52	1:18.000
2850	C-742	18	1	55	1:9.000
2851	C-742	18	1	55	1:9.000
2852	C-742	18	1	55	1:9.000
2853	C-742	18	1	55	1:9.000
2854	C-742	18	1	55	1:9.000
2913	C-769	19	1	56	1:9.000
29019	C-1782	1	12	77	1:8.100
29020	C-1782	1	12	77	1:8.300
20023	C-620	22	3	52	1:18.000
30196	C-1926	11	11	79	1:7.700
30198	C-1926	11	11	79	1:7.200
34915	C-2362	3, 4	1	89	1:4.310
34917	C-2362	3, 4	1	89	1:4.525
34919	C-2362	3, 4	1	89	1:4.825
8788	SAV-415		2	98	1:20.450
39296	C-217		11	04	1:20.000
39297	C-217		11	04	1:20.000

Tabla 1. Fotografías aéreas disponibles del humedal Juan Amarillo.

Teniendo en cuenta que el estudio se realizó a una escala de resolución aproximada 1:10.000, los diferentes elementos geográficos que se consideraron representativos del paisaje del humedal Juan Amarillo se presentan en la Tabla 2 y fueron definidos teniendo en cuenta la metodología propuesta por Forero, 1984. Debido a las diferencias de escala en los vuelos disponibles para el área de interés, las coberturas vegetales se definieron de acuerdo con los criterios de Schmidt-Mumm, 1998, así:

**Helófitas herbáceas:** coberturas compuestas principalmente de herbáceas con formas de crecimiento que no sobrepasan los 1,5 m de altura. Por lo general, estas comunidades se encuentran caracterizadas por especies como *Rumex conglomeratus*, *Polygonum hydropiperoides*, *P. punctatum* y *Bidens leavis*.

**Helófitas juncoides y graminoides:** corresponden a las coberturas en las cuales las plantas juncoides (principalmente *Schoenoplectus californicus* y *Typha angustifolia*) cubren más del 50% de un área. Se puede presentar en baja proporción una vegetación herbácea o graminoides.

**Praderas errantes (vegetación flotante):** corresponden a comunidades usualmente uniestratificadas, formadas por acropleustófitos como *Azolla filiculoides*, *Lemna giba*, *L. minuta*, *Ludwigia peploides*, *Hydrocotyle ranunculoides* y *Begonia* sp.

**Comunidad de kikuyo:** aunque no hace parte de las formaciones vegetales acuáticas, se consideró fundamental diferenciar esta cobertura teniendo en cuenta que constituye uno de los factores tensionantes que más se ha incrementado en el humedal. Como su nombre lo indica, la especie dominante de esta comunidad (>80%) la constituye el kikuyo (*P. clandestinum*). El kikuyo se considera un factor tensionante al ser un elemento colonizador que ejerce fuertes presiones sobre las coberturas vegetales propias del ecosistema, pues una vez logra establecerse, se desarrolla a expensas de las especies nativas y se propaga masivamente (Ríos y Vargas, 2003).

Clase	Sub-clase	Tipo
Cursos y cuerpos de agua	Cursos de agua	Río Juan Amarillo
		Meandros
		Canales de desecación
		Canal Bolivia
		Aguas negras
		Aguas del brazo
	Cuerpos de agua	Espejos de agua
		Lodos
Coberturas vegetales	Helófitas herbáceas	
	Cobertura arbórea	
	Cobertura de kikuyo	
	Helófitas juncooides y graminooides	<i>Typha angustifolia</i>
		<i>Scirpus californicus</i>
Praderas errantes emergidas		
Urbana	Uso de suelo	Camellones indígenas
		Agropecuario
		Infraestructura urbana

Tabla 2. Elementos del paisaje analizadas en el estudio

Para el procesamiento de la información espacial disponible se elaboraron mosaicos georeferenciados a partir de los cuales se realizaron las restituciones vectoriales de cada unidad paisajística. Para este procesamiento se utilizó el *software* ArcGis 9. Teniendo en cuenta que la restitución se realizó a partir de fotografías aéreas (formato raster), tanto la elaboración de los mosaicos, como la georeferenciación de los mismos se trabajaron en ERDAS8.7.

#### ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL PAISAJE DEL HUMEDAL JUAN AMARILLO

Inicialmente se determinó la estructura del paisaje del humedal Juan Amarillo en los ocho periodos de tiempo diferentes, a partir de los descriptores tamaño, número y distribución espacial de cada elemento del paisaje (tipos de parches). Este último se evaluó a partir del índice de interdispersión y yuxtaposición (IJI). Para la composición se analizaron los índices de: composición y superficie, complejidad del paisaje y diversidad (Bejarano, 2007).

El IJI se utilizó para evaluar el grado de abundancia, dispersión o aglomeración de los parches pertenecientes a un mismo tipo. Un valor cercano a 0 significa que los parches son poco abundantes y tienden a estar localizados en áreas específicas. Valores

intermedios (alrededor de 50), indican que los parches están distribuidos por todo el territorio. Cuanto mayor sea el IJI y la superficie total cubierta por la clase, mayor será la homogeneización paisajística (Romero, 2005).

La complejidad de las formas a escala de los parches se determinó a través de la dimensión fractal corregida (AWMPFD por sus siglas en inglés), que constituye un indicador invariante de escala que permite interpretar la variación en la regularidad de las formas expresada a partir de la relación del área y el perímetro.

El índice AWMPD presenta unos límites teóricos que están entre 1 y 2; los valores más altos indican mayor complejidad en la forma del parche y los valores cercanos a 1 indican formas geométricas más sencillas (Romero, 2005).

#### **MODELAMIENTO Y ANÁLISIS ESPACIAL**

Una vez establecida la estructura y composición del paisaje para cada periodo de tiempo, mediante la elaboración de los respectivos modelos cartográficos digitales, se establecieron las relaciones topológicas de adyacencia, continuidad, proximidad y pertenencia. Posteriormente se realizó un modelamiento para análisis espacial utilizando el módulo ArcToolbox de ArcGis 9 con el fin de identificar y cuantificar estas relaciones topológicas entre los diferentes elementos del paisaje (Martínez, 2005). Esta información se utilizó para calcular las tasas de cambio de cada elemento y de las diferentes proporciones en las que cada uno de ellos interviene para el incremento o disminución de los demás. Esto es importante para la definición de los coeficientes de las ecuaciones que se incorporaron al modelo que representa el comportamiento del ecosistema.

#### **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA**

Con el fin de interpretar la dinámica del humedal Juan Amarillo durante el periodo 1949-2005, se realizó un modelamiento utilizando la plataforma Stella 9 y la metodología propuesta por (Klopatek y Gardner, 1999).

Para elaborar el modelo conceptual, inicialmente se identificaron las relaciones entre las variables de estado (elementos del paisaje), las variables auxiliares o convertidores (que en este caso corresponden a las tasas de cambio en función de un contador de tiempo) y los principales flujos (aportes y pérdidas) de transferencia de área entre ellas. Adicionalmente se establecieron las relaciones entre los diferentes elementos del modelo.

Las variables de estado se inicializaron con el área del primer año estudiado (1949). Las pérdidas de cada una constituyen el aporte a las siguientes, en proporciones que fueron determinadas a partir de los análisis topológicos de contención de un elemento sobre los demás a lo largo del tiempo, cumpliendo con las leyes de la conservación de la materia (Bejarano, 2007).

A partir de la plataforma SIG, se calcularon los datos matemáticos necesarios (como áreas de los polígonos de cada elemento, proporción de inclusión y/o intersección entre ellos, tasas de cambio, etc.) para la formulación de las ecuaciones necesarias para la estructuración del modelo.

Los supuestos que se consideraron para la elaboración del modelo son:

- Se modelará un recurso no renovable que corresponde a la superficie total del Humedal (223.24 Ha).

- Debido a la escala de análisis, se considerará que cada elemento del paisaje, definido en las diferentes variables de estado es excluyente con respecto a los demás.
  - Cada variable de estado está compitiendo por el recurso área disponible.
- En la figura 2 se presenta un resumen de la metodología utilizada.



Figura 2. Resumen del método utilizado.

## RESULTADOS

### INTERPRETACIÓN DE LOS FOTOMOSAICOS

Los cambios presentados en el humedal Juan Amarillo han llevado a su actual diferenciación en tres sectores con dinámicas ecológicas diferentes. A continuación se presentan los cambios ocurridos en cada uno de ellos.

**Tercio alto.** En la actualidad este tercio representa el 26,79% del humedal y ocupa un área de 59,8 ha. Limita por el norte con los barrios San Cayetano, Rincón de Suba y sector del Rubí; por el sur con Ciudad Bachué y Luis Carlos Galán; por el oriente con Transversal 91, el Barrio Jaime Bermeo y la Urbanización Punta del Este y por el occidente con el tercio medio (Bejarano, 2005). Desde 1949 el tercio alto ha sufrido importantes modificaciones como resultado de las intervenciones que sobre este sector del humedal se han realizado. Desde esta época y teniendo en cuenta que el tercio alto era el sector del humedal que primero recibía las aguas provenientes del río Juan Amarillo, luego de recoger todas las aguas provenientes de la red de drenaje de la cuenca del Salitre (actualmente la cuenca urbana más grande de Bogotá), esta zona presentaba una importante carga de sedimentos que propició un avance significativo en la colmatación y terrización este sector. En el año de 1955, el tercio alto carecía de espejo de agua y hacia 1969, se adecuó el terreno correspondiente al tercio alto para la construcción de cinco piscinas que al parecer fueron utilizadas como parte del tratamiento y sedimentación de las aguas del río Juan Amarillo, cuyo cauce fue modificado por medio de jarillones, los cuales pudieron haber sido construidos para evitar el desborde del río durante las crecientes (DAMA, 1999.).

Debido a la alta carga de sedimentos que ingresa al humedal a través del río, para 1977, se aprecia la colmatación de las piscinas y su abandono como áreas para el

tratamiento de las aguas que ingresan. Este proceso continuó hasta el 2000, año en el cual el Acueducto de Bogotá emprendió como parte del programa de recuperación de humedales, la construcción de una laguna de 1.400 m de longitud máxima y 400 m de ancho, se realizó la reconfiguración de los bordes e islas del tercio alto del humedal y se sembraron diferentes tipos de vegetación (Acueducto de Bogotá y INABROMCO, 2003). En la actualidad, el costado sur del tercio alto cuenta con un área de revegetalización representada por 33 especies vegetales de árboles y arbustos, 17 de herbáceas y alrededor de 3.200 individuos en total (Guzmán y Flórez, 2005).

**Chucua de Colsubsidio.** Aunque este sector se considera como una unidad de funcionamiento hídrico independiente del resto del humedal, esta condición solo se presentó luego de las intervenciones realizadas en el humedal con la creación de jarillones. Previo a estas obras, el río Juan Amarillo atravesaba la Chucua antes de continuar hacia los tercios medio y bajo para desembocar finalmente al río Bogotá.

Las fotografías aéreas de los años 1949, 1952 y 1956 corroboran esta afirmación. Esto garantizaba la permanencia de agua en la Chucua durante todo el año. Sin embargo, debido a la construcción de un jarillón acondicionado en los años 1950 sobre el borde norte de este cuerpo de agua, la comunicación de la Chucua con el río disminuyó considerablemente y en 1956 con la consolidación del jarillón, se interrumpió definitivamente esta comunicación quedando únicamente un pequeño canal de desagüe por el que la Chucua entrega sus aguas al río Juan Amarillo. Como consecuencia de lo anterior, la Chucua de Colsubsidio sufrió un ritmo acelerado de desecación de tal forma que en la década del 70, el espejo de agua desapareció por completo y no cuenta con ningún aporte hídrico distinto al agua proveniente de la precipitación directa. En años posteriores, durante la década de los 80, se construyó el Canal Bolivia, que recoge aguas lluvias de la Ciudadela Colsubsidio y las descarga en la Chucua. Aunque este canal le garantiza un aporte permanente de aguas a este sector del humedal, su caudal no es suficiente para la recuperación hídrica de la Chucua de Colsubsidio.

**Tercio medio.** En la actualidad este tercio, incluyendo la Chucua de Colsubsidio, representa el 30,8% del humedal y ocupa un área de 68,7 ha. Limita por el norte con los barrios Nueva Tibabuyes, Aures II, Prados de Santa Bárbara, Carolina 2, Carolina 3, Atenas, Lagos de Suba, Lecha Walesa y Corinto; por el sur con la Ciudadela Colsubsidio y Bolivia; por el oriente con el tercio alto del humedal y por el occidente con el tercio bajo (Bejarano, 2005). En este sector del humedal, el cambio del curso del río Juan Amarillo es bastante notorio. En el año de 1949, el río, luego de bordear la Chucua de Colsubsidio por el costado norte, continuaba por el tercio medio atravesándolo en sentido sur-norte, con curvas contorneadas que hoy en día constituyen meandros fácilmente identificables en campo. Durante esta época todo el tercio medio permanecía inundado durante casi todo el año. En el año de 1956, el cauce del río continúa en forma natural hacia el occidente ramificándose en forma similar a un abanico aluvial, dadas las características y topografía del sector (DAMA, 1999). Durante esta época el costado occidental del tercio medio mantiene el espejo de agua continuo y libre de vegetación. En 1969, como consecuencia de la continuidad del jarillón, inicialmente construido solo hacia el costado norte de la Chucua de Colsubsidio, se cambió el curso natural del río Juan Amarillo, con lo que se generaron cambios

importantes en cuanto a la dinámica hídrica del humedal. Este cambio impidió un aporte hídrico permanente, que generó una pérdida de espejo de agua y la colonización de helófitas juncoides, herbáceas y praderas errantes, particularmente hacia el costado nororiental del tercio medio. Estas obras, junto con los canales de desecación construidos por los habitantes del sector para utilizar el tercio medio del humedal para labores pecuarias, principalmente ganadería, trajeron como consecuencia, en la década del 70, la pérdida de aproximadamente el 95% del espejo de agua y la pérdida en la capacidad de amortiguación de crecientes, función principal del humedal antes de la construcción del jarillón (DAMA, 1999). Durante esta época, las zonas de sedimentación libres de vegetación se incrementaron.

La terrización, la pérdida de comunidades de macrófitas acuáticas y la invasión de kikuyo en el tercio medio del humedal se ha acentuado desde la década de los 80, época en la que los asentamientos humanos ilegales aumentaron significativamente en la localidad de Suba y se consolida la Ciudadela Colsubsidio en la localidad de Engativá. En la actualidad, el tercio medio se encuentra invadido en un gran porcentaje por pasto kikuyo (*P. clandestinum*) como consecuencia de la desecación y sedimentación que se ha generado para la actividad ganadera. En el sector sur de este tercio, se encuentran algunos potreros delimitados con cercas, que demuestran la apropiación que algunos habitantes del sector dedicados a la ganadería hacen de estos espacios.

**Tercio bajo.** En la actualidad este tercio representa el 42,43% del humedal y ocupa un área de 94,7 ha. Limita por el norte con los barrios Miramar, La Gaitana, La Toscana y La Cañiza; por el sur con la Planta de Tratamiento del Salitre y parte de la Ciudadela Colsubsidio; por el oriente con el tercio medio del humedal y por el occidente con los barrios Lisboa y Santa Cecilia (Bejarano, 2005). Como consecuencia de la acción de los vientos y teniendo en cuenta que el tercio bajo se encontraba cubierto de agua permanentemente, las praderas errantes emergentes y otros materiales en suspensión fueron arrastrados y empezaron a acumularse en el costado occidental de este sector, factor que dió inicio a la pérdida de espejo de agua. Posteriormente las zonas que comenzaron el proceso de terrización fueron colonizadas por comunidades de macrófitas acuáticas y posteriormente pasto kikuyo (*P. clandestinum*).

El proceso de sedimentación se incrementó a causa de la construcción y adecuación del jarillón y la canalización del río Juan Amarillo, de tal forma que hacia la segunda mitad de la década de los 70, el espejo de agua continuo del tercio bajo desaparece. Durante la década de los 90, se dió inicio a la construcción de urbanizaciones ilegales, las cuales ejercen presiones sobre el cuerpo del humedal (DAMA, 1999). También se evidencia un avance importante del kikuyo (*P. clandestinum*) sobre la comunidad de junco (*S. californicus*). El aporte de agua principal hacia el humedal en este tercio se da a través de la lluvia directa, el Colector CAFAM (muy cercano al corredor del interceptor del río Bogotá) y en época lluviosa por el rebose del canal Salitre. Sin embargo, el espejo de agua que se forma es muy transitorio y desaparece rápidamente.

#### **ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL PAISAJE**

En general, en el humedal Juan Amarillo, la composición y configuración paisajística ha cambiado notoriamente con una tendencia al incremento en el número, tamaño y tipo de parches, pues mientras en el año 1949 más del 50% del ecosistema se encon-

traba conformado por cuerpos de agua, en el año 2005 ningún tipo de parche superó el 27% de ocupación espacial total (Fig. 3).

Los elementos paisajísticos presentes en 1949, en general se han mantenido desde entonces, excepto la cobertura de praderas errantes que para los años comprendidos entre 1989-1998, fueron imperceptibles a la escala de análisis de este estudio (1:10000). Esto se debe a la colmatación del humedal que ocasionó la pérdida de espejos de agua permanentes, necesarios para el establecimiento de este tipo de comunidades vegetales. A partir del año 1955, se visualizan nuevos elementos que se incluyeron al sistema por algunas intervenciones realizadas en el humedal en los años 50, como la construcción de un jarillón sobre el borde norte de la chucua de Colsubsidio.

Dentro de los elementos que aparecen en el humedal desde 1955 se encuentran los jarillones, la infraestructura urbana y la cobertura de pasto kikuyo (*P. clandestinum*). La inclusión y/o aparición de estos elementos, generaron profundos cambios en la estructura del paisaje que se manifiestan por ejemplo en la disminución de cuerpos de agua, de praderas errantes emergidas y de helófitas herbáceas. Dentro de los mecanismos que se han visto alterados, se encuentran la dinámica hídrica propia del humedal y las relaciones de competencia y colonización que se han desencadenado por la presencia de la cobertura de kikuyo.

Los parches de helófitas herbáceas y helófitas juncoides y graminoides, no mantienen patrones determinados debido a las múltiples interacciones que se presentan entre ellos. Sin embargo, otras coberturas como el cuerpo de agua y el kikuyo, presentan claras tendencias de disminución y aumento respectivamente, con un ligero cambio en el año 2005, como consecuencia de la construcción de la laguna No. 1 localizada en el tercio alto. La reducción considerable de superficie ocupada por espejo de agua, se evidencia en el año 1977, época en la que el río Juan Amarillo se encontraba completamente canalizado y la dinámica río-humedal se había perdido de manera significativa. Se presentan diferencias estructurales importantes entre los diversos periodos de tiempo analizados. El humedal Juan Amarillo, se ha caracterizado por tener baja cobertura arbórea. Los pocos fragmentos que se observan, se encuentran espacialmente ubicados en el brazo del humedal y en el tercio bajo del mismo. El incremento en el número de fragmentos y en el área de ocupación de este elemento paisajístico se generó a partir del año 2000, época en la que se dio inicio a la siembra de árboles y arbustos en el costado sur del tercio alto como parte del programa de recuperación de humedales del Acueducto de Bogotá (Acueducto de Bogotá y INA-BROMCO, 2003, (Fig. 3). Las praderas errantes han tenido un comportamiento asociado a la presencia y permanencia de espejos de agua. Mientras en el año 1949 el cuerpo de agua representaba el 52,66% del humedal, para el año 2000, este elemento representaba menos del 8% de ocupación. El incremento que se observa para el año 2005, se debe a la creación de la "Laguna No. 1", que también hizo parte del programa de recuperación de humedales del Acueducto. El pasto kikuyo desde su aparición ha generado una fuerte competencia con helófitas herbáceas y helófitas juncoides y graminoides que explican las fluctuaciones que se han presentado en cuanto al número de fragmentos y las áreas ocupadas por estos tres elementos con una tendencia evidente al aumento del pasto kikuyo que en 1955 ocupaba tan solo el 0,47% del área del humedal y para el año 2005 llegó al 26,32% (Tabla 3).

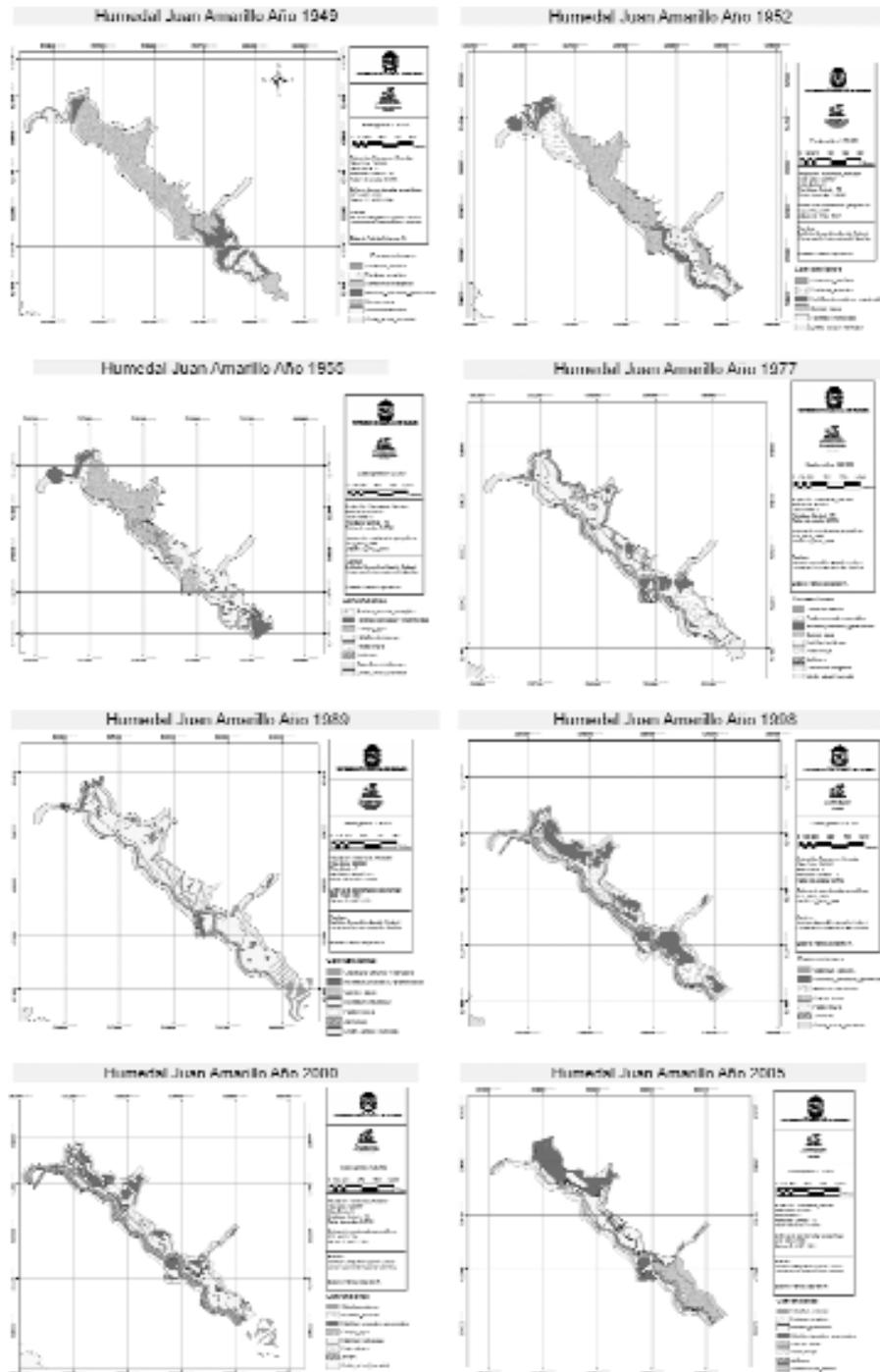


Figura 3. Restitución vectorial del paisaje del humedal Juan Amarillo.

La relación entre la superficie ocupada por los elementos paisajísticos y el número de parches o fragmentos de cada uno no es proporcional. Esto se debe a que el número de fragmentos constituye un buen indicador de la forma en que se distribuyen espacialmente los elementos mientras que la superficie indica la predominancia total de cada elemento en el paisaje. El patrón de distribución espacial de las helófitas juncoides y graminoides en el humedal Juan Amarillo, muestra claramente que estas comunidades se establecen inicialmente de manera aislada e inician un crecimiento perimetral que va fusionando unidades aisladas hasta constituir parches de mayor superficie que con el tiempo llegan a homogenizar el paisaje, tal como se presenta en la actualidad tanto en el tercio bajo como en la Chucua de Colsubsidio del humedal.

#### ARREGLO ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS PAISAJÍSTICOS

Los valores del índice de yuxtaposición (IJI) muestran que todos los elementos presentan no solo poca abundancia sino patrón de distribución concentrado (excepto en el cuerpo de agua donde  $IJI > 40\%$ , Tabla 4). Esto se puede visualizar en la figura 3, donde se observa que en general, hubo una distribución aglomerada. Las helófitas juncoides y graminoides, cuyo número de parches o fragmentos es mayor, se distribuye de forma muy localizada de tal manera que a pesar de ser el elemento más abundante, no se diferencia en cuanto al arreglo espacial con respecto a los demás. Para el caso del cuerpo de agua, durante el periodo 1949-1955, en el que los parches son poco abundantes pero ocupan grandes áreas del territorio, el IJI no refleja su verdadera distribución espacial, debido a que este índice no refleja el grado de distribución de los parches cuando éstos forman parte de los elementos predominantes por su tamaño y no por su abundancia. Matemáticamente esto se debe a que el IJI tiene en cuenta los perímetros y no las áreas de ocupación de los parches.

Durante los últimos 50 años, no se presentaron cambios en los patrones de distribución espacial de los elementos paisajísticos del humedal, excepto en el aumento del IJI en las praderas errantes durante 1952 y el cuerpo de agua en 1977. Estos dos eventos están asociados, el primer caso con la amplia oferta de hábitat que existía por esos años para el establecimiento de praderas errantes emergidas, y el segundo caso, con el cambio que se presentó en la distribución de agua al pasar de grandes espejos a pequeños cuerpos y canales que se distribuyeron por todo el humedal como consecuencia de múltiples factores dentro del que se destaca la canalización del río Juan Amarillo en 1970.

#### FORMA DE LOS PARCHES DE CADA ELEMENTO PAISAJÍSTICO MEDIDO A TRAVÉS DE SU DIMENSIÓN FRACTAL

Los elementos introducidos al sistema por obras de infraestructura, tales como los jarrillones, y el canal salitre (que permaneció sin modificaciones durante el periodo 1977-1998), presentaron menores fluctuaciones en la complejidad de sus parches y poseen dimensiones fractales altas al presentar formas alargadas (dimensión fractal  $> 1,50$ , Tabla 5).

Otro de los elementos introducidos en el ecosistema, es el pasto kikuyo (*P. clandestinum*). La tendencia al aumento en la complejidad de sus parches, se debe a su forma de crecimiento fractal y al éxito que tiene esta especie para competir, colonizar espacios y dispersarse (Ríos y Vargas, 2003).

	1949			1952			1955			1977		
	No. fragmentos	Área (ha.)	%									
Elemento paisajístico												
Cobertura arbórea	2	4,81	2,15	2	4,81	2,15	1	0,9	0,40	6	1,99	0,89
Praderas_errantes	5	12,84	5,75	2	36,21	16,22	1	5,22	2,34	1	20,34	9,11
Helofitas_juncoides	6	30,07	13,47	44	33,16	14,85	66	24,1	10,80	65	22,15	9,92
_graminoides	2	117,56	52,66	3	93,98	42,10	10	89,32	40,01	3	20,86	9,34
Cuerpo_agua	11	9,29	4,16	2	23,26	10,42	2	77,38	34,66	2	87,66	39,27
Helofitas_herbáceas	0	0	0,00	0	0	0,00	2	1,04	0,47	4	9,8	4,39
Pasto kikuyo	0	0	0,00	0	0	0,00	2	3,58	1,60	3	17,1	7,66
Otro (jarillones)	1	48,67	21,80	1	31,82	14,25	1	21,7	9,72	1	52,58	19,41
Otro (uso agropecuario)	27	223,24	100	54	223,24	100	85	223,24	100	85	223,24	100
TOTAL												

	1949			1952			1955			1977		
	No. fragmentos	Área (ha.)	%									
Elemento paisajístico												
Cobertura arbórea	2	3,18	1,42	3	1,08	0,48	14	6,17	2,76	20	5,8	2,60
Praderas_errantes	0	0	0,00	0	0	0,00	2	4,19	1,88	1	3,93	1,76
Helofitas_juncoides	63	9,15	4,10	23	58,34	26,13	57	38,19	17,11	3	44,04	19,73
_graminoides	4	18,81	8,43	6	21,93	9,82	3	17,79	7,97	8	37,25	16,69
Cuerpo_agua	4	102,66	45,99	16	27,3	12,23	17	64,54	28,91	3	39,44	17,67
Helofitas_herbáceas	5	21,04	9,42	26	55,16	24,71	6	31,76	14,23	7	58,76	26,32
Pasto kikuyo	3	12,12	5,43	5	24,64	11,04	4	35,41	15,86	7	16,87	7,56
Otro (jarillones)	1	56,28	25,21	1	34,79	15,58	1	25,19	11,28	1	17,15	7,68
Otro (uso agropecuario e infraestructura urbana)	82	223,24	100	80	223,24	100	104	223,24	100	50	223,24	100
TOTAL												

Tabla 3. Composición, abundancia y superficie total de parches.

Elemento del paisaje	1949	1952	1955	1977	1989	1998	2000	2005
Cobertura arbórea	26,48	26,48	0,00	6,67	18,81	7,37	14,82	18,21
Praderas errantes	11,98	34,73	0,00	0,00	0,00	0,00	15,50	0,00
Helófitas_juncoides _graminoide	9,86	19,55	19,92	24,71	16,34	26,64	29,97	24,48
Cuerpo_agua	11,96	17,89	17,89	70,38	44,88	34,67	17,16	22,09
Helófitas_herbáceas	10,12	28,38	34,78	27,06	16,21	21,21	29,66	28,24
Pasto kikuyo	0,00	0,00	12,48	16,11	24,85	27,98	5,92	26,39
Jarillones	0,00	0,00	30,56	26,12	20,73	19,40	2,17	20,45

Tabla 4. Índice de yuxtaposición (JI) para cada elemento del paisaje durante el periodo 1949-2005.

En cuanto a los elementos propios del ecosistema, se aprecian dos tendencias: la primera está relacionada con formas regulares de los parches que se presentan tanto en las praderas errantes como en las helófitas juncoides y graminoideas. La segunda, hace referencia a formas más complejas que las anteriores en los parches pertenecientes a las helófitas herbáceas. Las formas regulares de las praderas errantes (dimensión fractal  $<1,40$ ), se deben principalmente a que las formas de los parches de este elemento del paisaje, son el resultado de la acción de factores externos a las especies vegetales que lo constituyen la disponibilidad de agua y la acción de los vientos. En el caso de las helófitas juncoides y graminoideas, las formas regulares se deben al tipo de crecimiento en macollas que presentan las especies vegetales que conforman este elemento paisajístico, dentro de las cuales predominan el junco (*Scirpus californicus*) y la enea (*Typha angustifolia*).

Elemento del paisaje	1949	1952	1955	1977	1989	1998	2000	2005
Cobertura arbórea	1,51	1,51	1,41	1,39	1,42	1,43	1,49	1,60
Praderas errantes	1,39	1,30	1,32	1,34	-	-	1,40	1,30
Helófitas_juncoides _graminoideas	1,47	1,50	1,36	1,41	1,41	1,35	1,38	1,38
Cuerpo_agua	1,40	1,40	1,49	1,73	1,73	1,71	1,67	1,48
Helófitas_herbáceas	1,35	1,43	1,22	1,55	1,44	1,37	1,44	1,49
Pasto kikuyo	-	-	1,46	1,39	1,44	1,50	1,57	1,59
Jarillones	-	-	1,57	1,57	1,60	1,56	1,57	1,57

Tabla 5. Dimensión fractal de los elementos paisajísticos del humedal Juan Amarillo durante el periodo 1949-2005.

La segunda tendencia que se observa en cuanto a la dimensión fractal, se encuentra en las helófitas herbáceas con valores intermedios (entre 1,4 y 1,5), relacionados también con la forma de crecimiento de las especies vegetales que la constituyen dentro de las cuales se encuentran el barbasco (*Poligonum* sp.), la lengua de vaca (*R. conglomeratus*) y el botoncillo (*Bidens laevis*). El incremento de la dimensión fractal observado en 1977, puede estar relacionado con los cambios que se presentaron en el ecosistema como consecuencia de la canalización del río Juan Amarillo, en donde las superficies ocupadas por agua se desecaron generando una oferta de recursos para el establecimiento de las helófitas herbáceas. Posteriormente las dimensiones fractales vuelven a disminuir alcanzando valores similares a los observados antes de la intervención (Tabla 3).



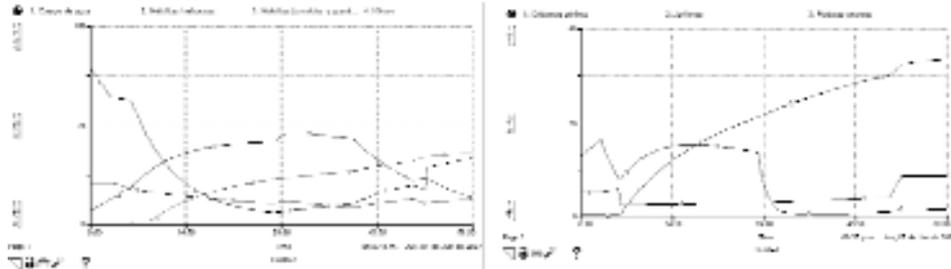


Figura 5. Resultado de la simulación del modelo del comportamiento del sistema.

## DISCUSIÓN

La modelación de la dinámica espacio temporal del humedal Juan Amarillo muestra un comportamiento variable en cuanto a las tasas de cambio de cada cobertura. Esto obedece a pulsos causados por agentes endógenos (crecimiento de especies invasoras, colmatación, geometría, entre otros) y exógenos (canalización del río Juan Amarillo, descargas de rellenos antrópicos, construcción de jarillones, actividades agropecuarias, etc.) al sistema, que se deben identificar y relacionar con el modelo para poder predecir escenarios futuros y adoptar medidas de manejo.

Las múltiples interacciones entre los elementos del paisaje del Juan Amarillo, muestran que la dinámica del humedal no responde a un patrón sucesional de tipo clementsiano, no solo por tratarse de un ecosistema urbano sino por su condición de humedal. Esto ha sido apoyado por diversas investigaciones como las realizadas por Mitch y Gosselink, 1993, quienes señalan que la idea de un clímax terrestre regional, o estado maduro, en los humedales es inapropiada. Según estos autores, existen escasos o ningún ejemplo de humedales que pasen a ser ecosistemas terrestres. Las evidencias señalan que los humedales presentan propiedades que corresponden tanto a ecosistemas maduros como inmaduros en relación a las descripciones realizadas por Odum, 1971, con respecto al desarrollo de los ecosistemas.

Aunque el modelo elaborado no corresponde a un modelo mecanístico que permita predecir escenarios pasados o futuros del sistema y solamente representa los datos empíricos, se puede apreciar que las complejas interacciones que se presentan en el humedal evidencian que cualquier intervención realizada al interior del ecosistema, desencadena una serie de procesos en diferentes direcciones que pueden llevar al sistema hacia su recuperación o su deterioro. De acuerdo con el modelamiento, se aprecia que la inclusión de elementos foráneos al sistema afecta fuertemente la configuración paisajística propia del humedal, trayendo como consecuencia la pérdida funcional del mismo en cuanto a la prestación de los importantes servicios ambientales que presta y a los flujos de materia y energía que se llevan a cabo en las diferentes cadenas tróficas que se generan gracias a la biodiversidad propia de este tipo de ecosistemas.

En el contexto regional el humedal Juan Amarillo y los humedales de Bogotá en general, cumplen un papel fundamental en la dinámica de poblaciones de fauna endémica y migratoria (particularmente aves) y contribuyen al control del rebosamiento del río Bogotá y sus afluentes, que en el entorno urbano están representados por los ríos

Tunjuelo, Fucha y Salitre, conformando en su conjunto un gran plano de inundación (Calvachi, 2003). La recuperación de estos ecosistemas es fundamental para prevenir los riesgos de inundación, mejorar la calidad del aire y regular el clima local al capturar CO<sub>2</sub> y contribuir en el mejoramiento del régimen de vientos locales.

Las acciones de restauración que se lleven a cabo en estos ecosistemas deben estar enfocados hacia la recuperación de elementos propios y no a la inclusión de elementos foráneos así como a la aplicación de estrategias que busquen restaurar la totalidad del ecosistema y no fracciones o partes de él. El modelamiento muestra que la obra de la Laguna No. 1 realizado en el tercio alto del humedal Juan Amarillo, generó un aumento abrupto en el cuerpo de agua como consecuencia del llenado de la misma, pero no implicó cambios importantes en la configuración y distribución de los demás elementos paisajísticos del humedal, debido a que en la actualidad, esta obra constituye un sistema aislado del resto del humedal.

Aunque el interés del gobierno distrital, desde hace algunos años ha sido proteger y recuperar los humedales de la ciudad, es innegable el impacto que tiene sobre estos ecosistemas factores como el incremento de la población en zonas urbanas, cuya tendencia se viene presentando de forma creciente y acelerada en la mayor parte de los países latinoamericanos.

Si bien es cierto que la Política de Humedales del Distrito Capital (DAMA, 2006), especifica que todas las intervenciones que se hagan en estos ecosistemas deben propender hacia su recuperación, en la actualidad existen conflictos de intereses relacionados con distintos puntos de vista en torno a la modernización y el crecimiento de la ciudad, muchas veces en contraposición con la calidad y mejoramiento ambiental de Bogotá. Esto se debe en gran parte a que estos ecosistemas se localizan en zonas periféricas donde generalmente se proyectan obras de infraestructura como plantas de residuos sólidos o proyectos viales de conexión entre la ciudad y la región.

Desde la ecología puede y deben darse alternativas que permitan integrar todos los factores arriba mencionados para proponer acciones concretas de recuperación. Por ejemplo, los resultados del presente estudio permiten mostrar que las acciones de recuperación deben estar encaminadas hacia la eliminación de algunos jarillones, la restauración de la conectividad entre el canal Salitre y el humedal junto con la reconfiguración geomorfológica del humedal que garantice la recuperación en el almacenamiento de agua cercano al 40%. Este almacenamiento de agua permitiría generar cambios importantes en la configuración de los diferentes elementos paisajísticos del humedal, de tal manera que se presente menor fragmentación entre los parches (a través de la disminución en la abundancia de cada elemento y el aumento de su superficie) y aumentos en las dimensiones fractales de los mismos, lo que indica mayores perímetros por parche, de gran importancia para diversas comunidades faunísticas. Sin embargo, lo anterior solo es posible si se logran armonizar las ideas renovadoras de crecimiento de la ciudad con su manejo y preservación ambiental.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresamos nuestro agradecimiento a Conservation International - Colombia, particularmente a Fabio Arjona, director ejecutivo de la Organización, a Dorelly

Estepa, Gerente administrativa y a Angel Guarnizo, director del programa de humedales altoandinos, quienes gestionaron la financiación del presente estudio. Al ecólogo Carlos Flórez por su colaboración en la georeferenciación y elaboración de algunos mosaicos del humedal. A los ingenieros catastrales Zou Cuentas y Jimmy Pachón, por sus aportes durante la elaboración del modelo de datos utilizado para la generación de la Personal Geodatabase. A las biólogas Mónica Castillo y Mónica Valencia por sus importantes contribuciones durante el primer modelo elaborado para interpretar la dinámica del humedal Juan Amarillo.

### BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. INA - BROMCO. Diseño y construcción del proyecto Box Culvert, sistema Salitre y obras complementarias. Proyecto: "Restauración ecológica de la cobertura vegetal en los bordes e islas de la Laguna No. 1 del Humedal Juan Amarillo". Bogotá; 2003.

BEJARANO P. Cambios espacio-temporales en los elementos del paisaje del Humedal Juan Amarillo durante el periodo 1949-2000. En: Conservación internacional - Acueducto de Bogotá. Investigación aplicada a la restauración ecológica del humedal Juan Amarillo. Informe final. Bogotá; 2005.

BEJARANO P. Dinámica del paisaje del humedal Juan amarillo durante el periodo 1950-2005 [tesis de maestría]. Bogotá: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia; 2007.

CALVACHI B. Una aproximación al conocimiento actual de humedales, lagunas y embalses de Bogotá y la Sabana. En: Conservación Internacional - Colombia, dirección editorial. Los humedales de Bogotá y La Sabana. Bogotá: Panamericana; 2003.

CONSERVACIÓN INTERNACIONAL-ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. Investigación aplicada para la restauración ecológica del humedal Juan Amarillo. Informe final. Bogotá; 2005.

CONSERVACIÓN INTERNACIONAL-ACUEDUCTO DE BOGOTÁ. Síntesis del estado actual de los humedales bogotanos. Informe final. Bogotá; 2000.

DAMA. Política de Humedales del Distrito Capital. DAMA. Bogotá; 2006.

DAMA. Estudio del estado actual y situación jurídica de cinco humedales del Distrito Capital y la proyección de escenarios a mediano plazo de los humedales contenidos dentro del acuerdo 19 de 1994, Vol. I, Reseña histórica-estudio y secuencia cronológica de cinco humedales del D. C. DAMA. Bogotá; 1999.

DAPHNIA LTDA. Estudio ecológico y diseño del Plan de Manejo Ambiental del Humedal Juan Amarillo. Bogotá. Tomo I Línea Base; 1995.

FORERO M. Levantamiento de cobertura terrestre y uso de la tierra. CIAF, Bogotá; 1984;9(1),67-88.

GUZMÁN A, FLÓREZ C. Monitoreo del proceso de restauración ecológica en los bordes e islas del Humedal Juan Amarillo (primera fase). Proyecto de investigación aplicada en la restauración ecológica del Humedal Juan Amarillo. Convenio de cooperación tecnológica Acueducto de Bogotá-Conservación Internacional. Bogotá; 2005.

KLOPATEKJ, GARDNER R. Landscape Ecological. Analisis Issues and Applications. Springer; 1999.

MACDONALD A. Building a Geodatabase. GIS by ESRI. USA; 2001.

MÁRQUEZ G. Bienes y servicios ecológicos de los humedales. En: Conservación Internacional - Colombia, dirección editorial. Los humedales de Bogotá y la Sabana. Bogotá: Panamericana; 2003.

MARTÍNEZ Y. Obtención automática de relaciones espaciales en el análisis del territorio: relaciones de adyacencia entre unidades de paisaje en el Alt Penedés - Anoia (Cataluña). Universidad de Lleida, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. 2005. [citado 2 nov 2005]; Disponible en URL: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/adyacencia.pdf>.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Centro de publicaciones de la secretaría general técnica del Ministerio de Medio Ambiente. Barcelona; 2000.

MITCH W, GOSSELINK J. Wetlands. Van Nostrand, New Cork, 1993.

ODUM E. Fundamentals of Ecology. 3ª edición, W. B. Saunders Co., Philadelphia; 1971.

RÍOS H, VARGAS O. Ecología de las especies invasoras. *Perez Arvelaezia* 2003; 14:119-148.

ROMERO M. Cambios en la estructura del paisaje del Alt Emporadà en el periodo 1957-2001 [tesis de doctorado]. Barcelona: Universitat de Girona; 2005.

SCHMIDT-MUMM U. Vegetación acuática y plustre de la Sabana de Bogotá y plano del río Ubaté [tesis de Maestría]. Bogotá: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias; Universidad Nacional de Colombia; 1998.

